جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و پنج، بهار ۱۳۹۷

صص ۹۶- ۷۵

DOI: 10.22067/geo.v7i1.61008

بررسی کارایی مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سردارآباد استان لرستان)

سحرگودرزی- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

علی طالبی[1]- دانشیارگروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

حمیدرضا پورقاسمی- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۹/۲۵

چکیده

زمین‌لغزش ازجمله بلایای طبیعی است که بیشتر در مناطق کوهستانی رخ می‌دهد و مورفولوژی را به‌طور ناگهانی تغییر داده و خسارت‌های عمده‌ای به مناطق مسکونی، جاده‌ها زمین‌های کشاورزی و غیره وارد می‌سازد. هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در حوزه آبخیز سردارآباد واقع در استان لرستان است. به این منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی، ۱۰۹ پهنه لغزشی شناسایی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع، سنگ‌شناسی، درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، بارندگی و کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شناسایی و نقشه‌های مذکور در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و رقومی گردیدند. به منظور وزن‌دهی کلاس‌های هر یک از عوامل از روش نسبت فراوانی استفاده گردید؛ سپس وزن‌های به‌دست آمده نرمال‌سازی شده و به محیط نرم‌افزار Matlab2015a منتقل گردید. در تحقیق حاضر از ساختار سیستم استنتاج فازی خوشه‌بندی (کلاسترینگ) برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی مدل‌ها از منحنی راک استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که دقت مدل تهیه‌شده با استفاده از سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی در منطقه موردمطالعه ۸۹/۱۱ درصد (خیلی خوب) برآورد شده است. نقشه حساسیت لغزش نیز نشان داد که مساحت مناطق با حساسیت متوسط ۲۹درصد، حساسیت

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۴۱۳۷۰۱۰ Email: talebisf@yazd.ac.ir

زیاد ۲۳درصد و حساسیت خیلی زیاد ۱۲درصد است. در مجموع مساحت مناطق متوسط، زیاد و خیلی زیاد ٦٤درصد بوده که نشان‌دهنده پتانسیل خطرپذیری بالای حوزه آبخیز سردارآباد در بروز لغزش‌ها است.

واژگان کلیدی: حوزه آبخیز، زمین‌لغزش، سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی، منحنی راک، منطقه- سردارآباد

۱- مقدمه

زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خطرات طبیعی در مناطق کوهستانی معرفی‌شده و خسارات مالی و جانی سنگینی را در زندگی بشر تحمیل می‌کند(Bui et al., 2012). به‌طورکلی از مجموع بلایای طبیعی، زمین‌لغزش ۹ درصد از کل آن‌ها در دهه گذشته به خود اختصاص داده(Yilmaz, 2009) و این پدیده در میان بلایای طبیعی در زمره پرخطرترین و زیان‌بارترین آن‌ها قرارگرفته که همگام با دست‌کاری بشر در سامانه‌های طبیعی شتاب فزاینده‌ای یافته است (شادفر و همکاران، ١٣٨٦). زمین‌لغزش‌ها در ایران نیز به‌عنوان یکی از شایع‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب شده و سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد ساخته و هزینه فراوانی برای بازسازی مناطق آسیب‌دیده بر بودجه کشور تحمیل می‌کند (زارع و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس آمار اولیه بانک اطلاعاتی، زمین‌لغزش‌های کشور که توسط وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۸۳) منتشر شد، خسارت ناشی از ٢٥٤٨ زمین‌لغزش بالغ‌بر ۱۰۷ نفر کشته و ٣٨٦ میلیارد ریال برآورد گردید (علیجانی و همکاران، ١٣٨٦). همچنین بر اساس آمارهای جدید سالانه ٦٠٠ میلیون دلار خسارت ناشی از زمین‌لغزش در ایران است (Jaada, 2009). با توجه به تأثیر نامطلوبی که این پدیده بر روی سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی و طبیعی دارد، شناخت نواحی مستعد لغزش در سطح کشور بسیار ضروری است. با توجه به اقلیم حاکم بر منطقه، زمین‌شناسی، کوهستانی بودن حوزۀ آبخیز سردارآباد، احداث غیر اصولی جاده‌ها و وجود ۱۵روستای دارای سکنه، حوزۀ آبخیز سردارآباد ازجمله حوزه‌های آبخیز مستعد زمین‌لغزش است و با توجه به این‌که زمین‌لغزش‌ها نسبت به سایر بلایای طبیعی مثل سیل، آتش‌فشان و زلزله دارای قابلیت مدیریت بیشتر می‌باشند؛ لذا تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش منطقه یکی از ابزارها و عوامل مهم در مدیریت و کنترل خطر زمین‌لغزش محسوب می‌شود.

در دنیا روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش وجود دارد، به‌طوری‌که تاریخچه استفاده از پهنه‌بندی زمین‌لغزش به دهه ۱۹۷۰ می‌رسد (Pradhan, 2010) .سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورداستفاده قرارگرفته است.

Sezer و همکاران (2011)به بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی-فازی تطبیقی در منطقه‌ای از مالزی پرداختند. نتایج نشان داد مدل نرو فازی با دقت ۹۸ درصد و مساحت سطح زیر منحنی ۰/۹۸ بهترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. Bui et al و همکاران (2012) با استفاده از مدل نرو فازی در

منطقه‌ای از ویتنام به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش پرداختند؛ در این پژوهش از ۱۱۸ زمین‌لغزش شناسایی‌شده در منطقه، ۷۰ درصد آن برای مدل‌سازی و مابقی برای ارزیابی مدل استفاده شد. نتایج نشان داد تمامی توابع گوسی و سیگموئیدی[1] نروفازی دارای کارایی بالایی بوده است. Pradhan (2013) از سه روش سیستم تصمیم‌گیری درختی[2]، ماشین بردار پشتیبان[3] و مدل سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی[4] برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در منطقه پنانگ مالزی استفاده کرد. در این مطالعه از ۵۰ درصد زمین‌لغزش برای مدل‌سازی و مابقی زمین‌لغزش‌ها برای ارزیابی مدل استفاده گردید. نتایج نشان داد مدل نرو فازی بهترین کارایی را در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش داشته است. Lee و همکاران (2015) با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و انفیس و با به‌کارگیری ۱۷ عامل مؤثر به پیش‌بینی زمین‌لغزش در منطقه کوهستانی بنام سیراک در کره جنوبی پرداختند و به این نتیجه رسیدن که مدل انفیس کارایی بیش‌تری در پیش‌بینی زمین‌لغزش دارد. نصیری اقدم و همکاران(۲۰۱۶)، اقدام به تهیه نقشه زمین‌لغزش در استان‌های همجوار کوه‌های البرز با استفاده از دو مدل شاخص آماری و انفیس کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل انفیس نتایج بسیار خوبی برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش ارائه می‌دهد. Chen و همکاران (2017) به ارزیابی عملکرد ترکیب مدل انفیس با مدل الگوریتم ژنتیک، تفاضل تکاملی و بهینه‌سازی ذرات برای مدل سازی زمین‌لغزش با استفاده از ۱۲عامل در استان سیچاین چین پرداختند که نتایج نشان از توانایی بالای هر یک از مدل‌ها در مدلسازی زمین‌لغزش منطقه دارد. Polykretis و همکاران (2017) به ارزیابی عملکرد مدل انفیس با استفاده از ٦ تابع عضویت با استفاده از ۷ عامل ورودی در منطقه پلوپونز یونان پرداختند. نتایج نشان داد این مدل عملکرد بسیار خوبی دارد. Kayastha (2012)؛ Feizizadeh et al (2014)و Leonardi et al (2016) با استفاده از منطق فازی به پهنه‌بندی نقشه حساسیت زمین‌لغزش پرداختند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی اقدام به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در شمال شهر تهران کردند و به این نتیجه رسیدند که دقت مدل تهیه‌شده با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در منطقه موردمطالعه خوب برآورد گردید. صفاری و اخدر (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های محدوده جاده ارتباطی مریوان - سنندج در استان کردستان (غرب ایران)، از طریق وزن دهی به معیارهای اصلی و با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS10 است. نتایج نشان داد که توابع عضویت فازی روشی مناسب برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌باشند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹٤)، به پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (انفیس) در شهر پل سفید استان مازندران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل عصبی-فازی کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها دارد. زارع و همکاران (۱۳۹٤)، به پهنه‌بندی

1 sigmoede
2 Decision tree (DT)
3 Support vector machin (SVM)
4 ANFIS

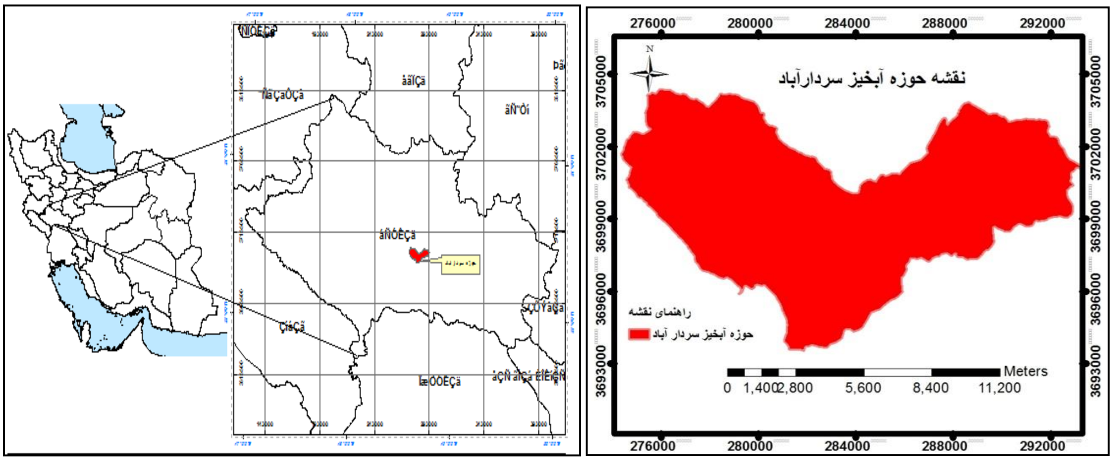
زمین‌لغزش با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی–فازی تطبیقی در حوزه آبخیز واز پرداختند که نتایج نشان داد مدل سیستم استنتاج عصبی–فازی تطبیقی کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها دارد. فیض‌الله‌پور (۱۳۹٦)، به پهنه‌بندی مناطق مستعد به زمین‌لغزش با استفاده از مدل انفیس در حوضه رودخانه سنگور چای پرداخت در این تحقیق ۸ لایه ورودی انتخاب گردید که نتایج نشان داد مدل انفیس کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها دارد. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳)، کشوری و همکاران (۱۳۹۳) با مدل انفیس در زمینه برآورد فرسایش و رسوب به نتایج قابل قبولی دست یافتند. کاربرد نتایج این پژوهش می‌تواند از وقوع بیش‌تر زمین‌لغزش و خسارات ناشی از آن در منطقه جلوگیری نماید. هدف از تحقیق حاضر پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از سیستم استنتاج عصبی– فازی تطبیقی با ساختار سیستم استنتاج فازی خوشه‌بندی در حوزه‌ی آبخیز سردارآباد استان لرستان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

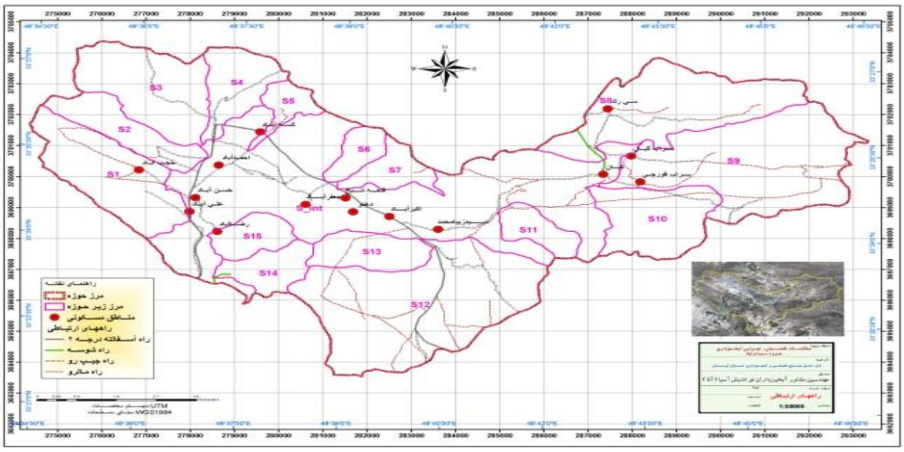
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سردارآباد با مساحت ۱۰٤/٤۷ کیلومترمربع در شرق شهرستان خرم‌آباد قرار دارد. حوزه موردمطالعه بین طول‌های جغرافیایی "۲۳ ´۳٤ °٤۸ تا "۳۷ ´٤٦ °٤۸ شرقی و عرض‌های "۲۳ ´۲۱ °۳۳ تا "۱۹ ´۲۷ °۳۳ شمالی قرارگرفته است. در داخل حوزه آبخیز سردارآباد ۱۵ روستا وجود دارد. کم‌ترین ارتفاع حوزه ۱٦۰۰ متر و بالاترین ارتفاع آن ۲٦۰۸ متر از سطح دریا است. نوع اقلیم منطقه براساس تقسیم‌بندی دومارتن نیمه مرطوب بوده و نوع نزولات در ارتفاعات پایین‌دست بیشتر به‌صورت باران و در ارتفاعات بالاتر به‌صورت برف است. میزان بارندگی متوسط سالانه ٥٦٤ میلی‌متر در سال و درجه حرارت متوسط سالانه آن ۱۵/۱۳ درجه سانتی‌گراد است.

شکل (۱) موقعیت حوزهٔ آبخیز موردنظر را روی نقشه ایران و استان و شکل (۲) نقشه راه‌های دسترسی و مناطق مسکونی حوزه آبخیز سردارآباد را نشان می‌دهد.



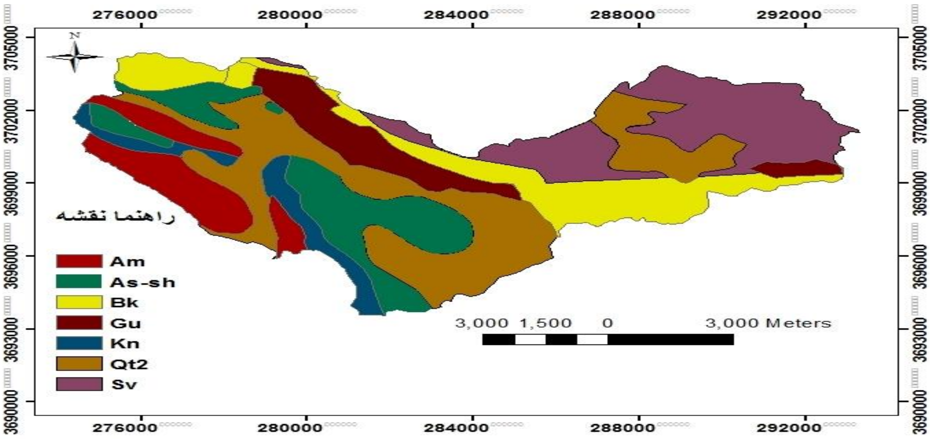
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سردارآباد



شکل ۲. نقشه راه‌های دسترسی و مناطق مسکونی حوزه آبخیز سردارآباد

مأخذ: اداره منابع طبعی استان لرستان

سنگ‌شناسی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعه زمین‌لغزش‌ها است؛ زیرا واحدهای سنگی مختلف دارای درجات حساسیت گوناگونی در بروز این پدیده هستند (Garcia et al,2008., Yalcin,2008)حوزه آبخیز سردارآباد بخشی از زون ساختاری زاگرس چین‌خورده است. در سطح این حوزه رخنمون سازندهای سنوزوئیک و در بخش شمالی آن بیرون‌زدگی‌هایی از سازند سروک با سن کرتاسه فوقانی دیده می‌شود. در محدوده موردمطالعه موسوم به حوزه آبخیز سردارآباد از سن قدیم به سن‌های جدید زمین‌شناسی می‌توان سازندهای سروک، گورپی، امیران، کشکان، آسماری– شهبازان، بختیاری و رسوبات دوران چهارم را مشاهده نمود. سازندهای موجود در این منطقه عموماً از: مارن، آهک‌های مارنی، کنگلومرا و آبرفت تشکیل‌شده‌اند که سست‌ترین آن‌ها مارن است. در شکل (۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه و در جدول (۱) مشخصات سازندهای منطقه موردمطالعه دیده می‌شود.



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز سردارآباد

جدول ۱. مشخصات سنگ‌شناسی منطقه موردمطالعه

نام سازند	علامت سازند	لیتولوژی سازند یا واحد رسوبی
بختیاری	Bk	آهک‌های مارنی بارنگ روشن
کواترنری	Q	آبرفت جوان، مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان‌تر
گورپی	*Gu*	مارن‌های کرم با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و شیل
آسماری- شهبازان	As-Sh	رخساره آهکی توده‌ای کرم تا قهوه‌ای‌رنگ
کشکان	Kn	مارن‌های قرمزرنگ
امیران	Am	کنگلومرایی سیاه‌رنگ
سروک	Sv	آهک‌های مارنی

۲-۲- استخراج داده

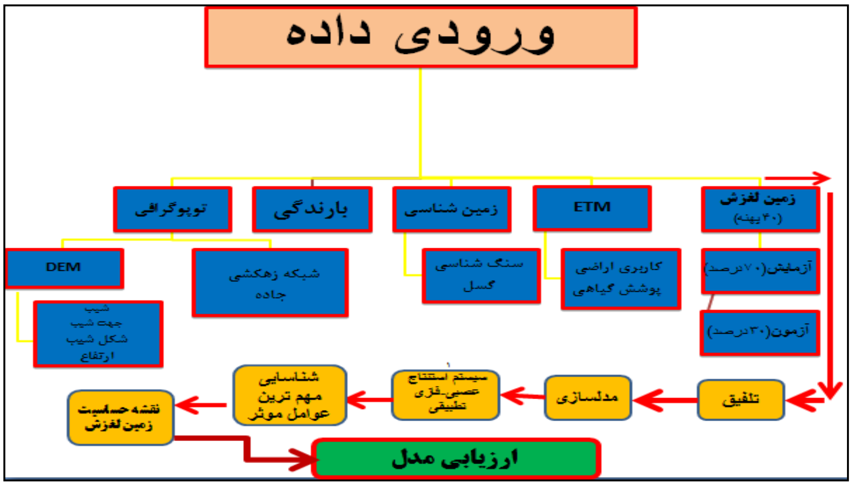
نوع پژوهش حاضر بر اساس هدف، کاربردی است. روش تحقیق در این پژوهش از نوع میدانی است و حوزه آبخیز موردمطالعه حوزه آبخیز سردارآباد واقع در شرق شهرستان خرم‌آباد استان لرستان است.

به‌منظور انجام پژوهش حاضر، نخست نقشه‌ها و تصاویر پایه از اداره منابع طبیعی استان لرستان اخذ گردید. نقاط لغزشی حوزه با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و بازدیدهای میدانی با استفاده از GPS ثبت و وارد نرم‌افزار ArcGIS 10.2 گردید تا نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه تهیه گردد. لایه‌های اطلاعاتی جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارندگی، لیتولوژی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش از روی نقشه‌های پایه (توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای) موجود با استفاده از الحاقی‌های مختلف در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی رقومی و تهیه گردید.

به این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه مدل رقـومی ارتفـاع تهیـه و عوامـل درجـه شیب، جهت شیب، شکل شیب و طبقه ارتفاعی از آن استخراج گردید. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی از اداره کـل منـابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان تهیه گردید. نقشه سنگ‌شناسی و فاصله از گسل نیز از نقشه زمین‌شناسـی منطقـه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه‌شده است. لایهٔ مربوط به آبراهه نیز از نقشـه توپـوگرافی منطقـه موردمطالعـه اسـتخراج گردیـد. نقشه شکل شیب منطقه موردمطالعه از طریق نقشه ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی و رقـومی سـازی آن در محـیط ArcGIS10.2 در ۳ کلاس مقعر (۰/۰۰۱-)<، مسطح (۰/۰۰۱)۰-(۰/۰۰۱-) و محدب <(۰/۰۰۱) تقسیم‌بندی و تهیه گردید.

با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی معتبر در داخل حوزه آبخیز برای برآورد بارنـدگی و درجـه حـرارت حوضه از ایستگاه‌های مجـاور استفاده‌شـده اسـت. بـرای تعیـین مقـدار بارنـدگی حوضـه مـوردنظر از ایسـتگاه‌هـای باران‌سنجی با طول آماری ۳۰ ساله استفاده‌شده است با توجه به اهمیت بـارش در وقـوع زمین‌لغـزش نقشـه هم‌بـاران سالانه با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های موجود از سال‌های ۱۳٦۰ تا ۱۳۹۰ تهیه گردیـد. بـه همـین منظـور مقـدار متوسط بارندگی سالانه و ارتفاع از سطح دریا در هر ایستگاه دوره آماری مشترک ۳۰ انتخـاب گردیدنـد (Pistoochi et al,2002). نقشه حاضر بر اساس داده‌های بارندگی ماهیانـه ایسـتگاه‌های شـاخص منـاطق خرم‌آبـاد، بروجـرد، دهنـو، رحیم‌آباد، ونایی، کاکارضا، سراب‌صیدعلی که توسط اداره کل منابع طبیعی استان لرستان تهیه‌شـده اسـت، آماده‌شـده و به ٤ کلاس بارندگی با فواصل ۳۵ میلی‌متری طبقه‌بندی گردید. در حـوزه آبخیـز سـردارآباد نقشـه کـاربری اراضـی از داده‌های ماهواره‌ای ETM استخراج‌شده و با عملیات میدانی تکمیل‌شده اسـت (براسـاس گـزارش اداره منـابع طبیعـی استان لرستان).

درمجموع، ۱۰۹ موقعیت لغزشی با استفاده از بانک اطلاعاتی اداره کل منابع طبیعـی و آبخیـزداری اسـتان، تصـاویر گوگل ارث و بازدیدهای صحرایی در منطقه موردمطالعـه شناسـایی گردیـد. پـس از تعیـین عوامـل مـؤثر، نقشـه‌های فوق‌الذکر و تهیه بانک اطلاعاتی اقدام بـه تهیـه نقشـه حساسـیت زمین‌لغـزش بـا اسـتفاده از مـدل انفـیس در محـیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی ArcGIS (SAGA-GIS) و هم‌چنـین نرم‌افـزار متلـب اسـتفاده گردیـد. در شـکل (٤) روند تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش و ارزیابی مدل نشان داده‌شده است.



شکل٤. چارچوب روند اجرای تحقیق

به‌منظور تعیین همبستگی روش‌های مختلفی وجود دارد که در این مطالعه از روش نسبت فراوانی[1] استفاده گردید. سپس شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه (۱) و (۲) محاسبه شد (پور قاسمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Lee,۲۰۰۷).

رابطه (۱)
$$Fr = \frac{\frac{nlandslide}{nclass}}{\frac{ntotal\ landslide}{nmap}}$$

Nlandslide: تعداد پیکسل‌های لغزشی هر کلاس، Nclass: تعداد پیکسل‌های هر کلاس، Ntotal landslide: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی نقشه، Nmap: تعداد کل پیکسل‌های نقشه

رابطه (۲)
$$LSI= \sum Fr$$

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین‌لغزش، Fr: وزن هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش است.

۲-۲-۱- مدل سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (انفیس)

مدل انفیس برگرفته از شبکه عصبی و منطق فازی می‌باشد. در سیستم‌های پیچیده‌ای که درک آنها مشکل می‌باشد و یا مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم گیری و استنباط بشری هستند، منطق فازی به عنوان ابزاری مؤثر به شمارمی رود. سیستم فازی قادر به استفاده از زبان بشری می‌باشد و می‌تواند از تجربیات بشری و افراد متخصص و خبره استفاده کند در حالی که قادر به یادگیری نمی‌باشد(Kartalopoulos,1996). اما شبکه‌های عصبی با استفاده از مجموعه داده‌ها، قابلیت خودآموزی دارند. در عین حال شبکه‌های عصبی غیرصریح هستند و قادر به استفاده از زبان بشری نمی‌باشند (Kartalopoulos,1996). اولین بار جانگ در سال ۱۹۹۳ توانست از قدرت زبانی سیستم‌های فازی و

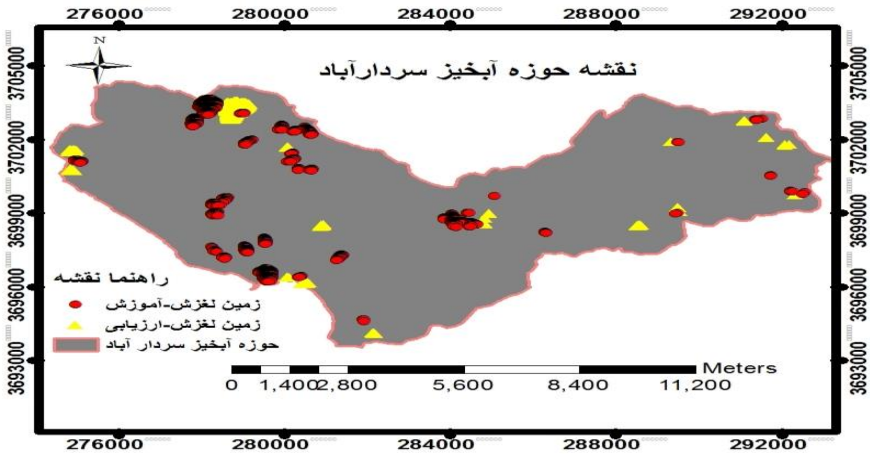
---
1 Frequency Ratio

آموزش شبکه‌های عصبی استفاده نماید و سیستمی تحت عنوان سیستم‌های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی ارائه نماید. این سیستم‌ها به سیستم‌های انفیس معروف شده‌اند(Jang,1993). شبکه تطبیقی شامل یک مجموعه از گره‌های متصل به هم است که به طور مستقیم به هم مرتبط شده‌اند و در آن هرگره یک واحد پردازش محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر از ترکیب منطق فازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌های فازی-عصبی به وجود آمده‌اند. این سیستم‌ها مشکل اصلی در طراحی سیستم‌های فازی (که همان به دست آوردن قواعد "اگر- آنگاه" فازی است) را به وسیله استفاده مؤثر از قابلیت یادگیری ANN جهت تولید خودکار این قواعد و بهینه‌سازی پارامترها، حل کرده‌اند.

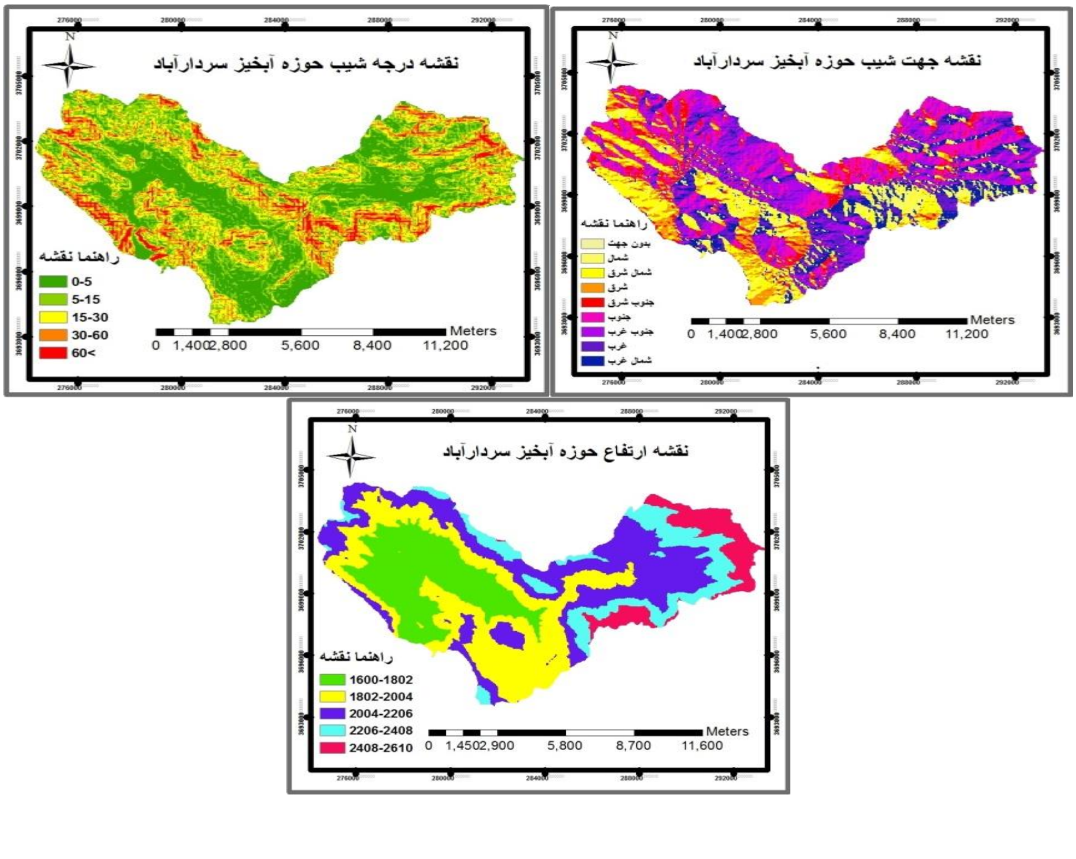
در این پژوهش برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش علاوه بر لایه زمین‌لغزش از ۱۰ لایه رقومی درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، شکل شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بارندگی، لیتولوژی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش استفاده شد. همه این لایه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS10.2 تهیه و کلاس‌بندی شدند. در مرحله بعد با توجه به روش مورداستفاده، هرکدام از لایه‌ها با لایه رقومی زمین‌لغزش قطع داده شد تا میزان تراکم لغزش در هر کلاس از هر لایه به‌دست‌آمده و با استفاده از این اطلاعات مراحل وزن‌دهی و محاسبات در جهت انجام تهیه نقشه حساسیت صورت گیرد.

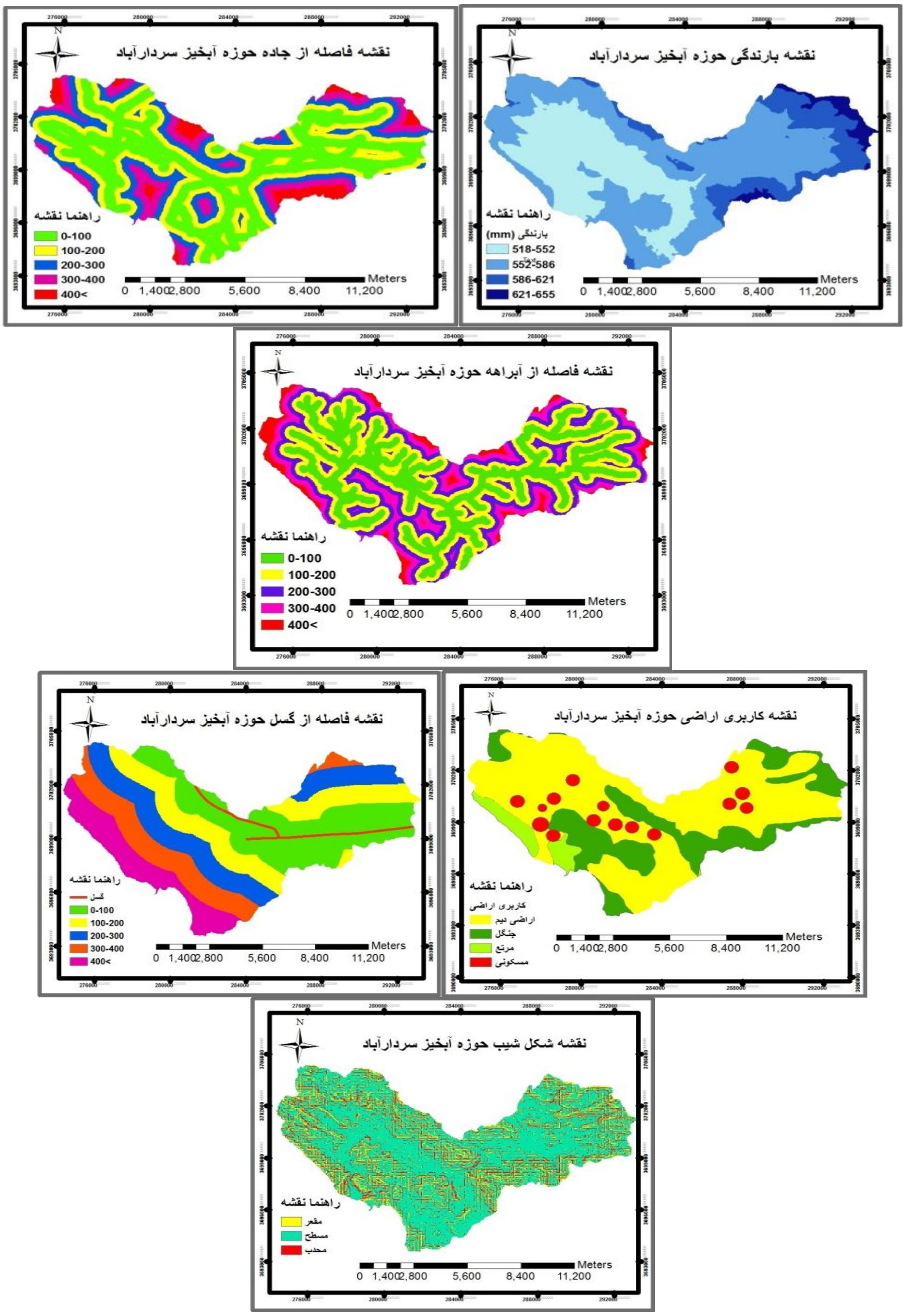
اولین گام در تهیه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه است. به این منظور در کل منطقه پیمایش زمینی صورت گرفته و موقعیت و تعداد نقاط لغزش با استفاده از GPS ثبت‌شده است. در منطقه موردمطالعه ۱۰۹ لغزش ثبت‌شده است (منبع: اداره منابع طبیعی استان لرستان) که ۷۷ لغزش برای آزمایش (آموزش) مدل و ۳۲ لغزش باقی‌مانده برای ارزیابی (آزمون) الگوریتم جنگل تصادفی استفاده گردید. سپس این نقاط به نرم‌افزار ArcGIS10.2 منتقل و نقشه پراکنش زمین‌لغزش منطقه تهیه شد نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش، نشان‌دهندهٔ مناطقی با بیشترین میزان وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای است. در محدودهٔ موردمطالعه زمین-لغزش‌ها به‌صورت پهنه‌ای رخ‌داده‌اند. برقراری رابطه میان این مناطق با نوع رخسارهٔ زمین‌شناسی آن‌ها بسیار پراهمیت است؛ چراکه مناطق با رسوبات سست مستعدترین مناطق برای وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای می‌باشند. شکل (۵) پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در منطقه و شکل(٦) نقشه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوزه آبخیز سردارآباد را نشان می‌دهد. بر اساس روابط مدل انفیس کلاسه‌های هر عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش وزن دهی می‌شود. در محیط ArcGIS 10.2 این وزن‌ها به نقشه اضافه و نقشه وزنی هر فاکتور به دست می‌آید؛ اما با توجه به اینکه تعداد معادلات زیاد بوده و پیچیدگی‌های بسیاری دارد، برنامه مربوط به مدل انفیس تحت یک برنامه اصلی در نرم‌افزار متلب نوشته و پس از اجرای مدل وزن‌های به‌دست‌آمده وارد محیط ArcGIS10.2 می‌شود. لازم به ذکر است با توجه به معادلات بالا مقدار وزن‌ها بین صفر و ۱ قرار می‌گیرد. در مرحله بعد نقشه‌های وزنی باهم جمع شده و نقشه نهایی به دست می‌آید. در این نقشه وزن هر پیکسل از مجموع وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر فاکتور در آن پیکسل محاسبه

می‌شود. بر اساس نقاط شکست منحنی تجمعی، نقشه به چهار طبقه حساسیت کم، حساسیت متوسط، حساسیت زیاد و حساسیت خیلی زیاد تقسیم می‌شود. پس از بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و انتقال آن‌ها به نرم‌افزار متلب، مدل انفیس مدل‌سازی گردیده و عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش تعیین گردیدند.



شکل ۵. پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزۀ آبخیز سردارآباد





شکل ٦. نقشه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوزه آبخیز سردارآباد

۲-۲-۲- اجرای مدل سیستم استنتاج عصبی – فازی تطبیقی(انفیس)

برای اجرای مدل سیستم استنتاج عصبی – فازی تطبیقی از نرم‌افزار MATLAB2015a استفاده گردید اما قبل از ورودی داده‌ها برای اجرای مدل و به‌منظور افزایش کارایی مدل سیستم استنتاج عصبی – فازی تطبیقی در مدل‌سازی داده‌های ورودی و خروجی، داده‌ها معیار سازی (نرمال‌سازی) می‌شوند که این کار از طریق فرمول (۳) در نرم‌افزار ArcGIS10.2 برای هر ۱۰ ورودی اجرا می‌شود. درواقع شاخص حساسیت زمین‌لغزش از جمع عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش با روش Fr بوده است. در این مطالعه ۳۲ زمین‌لغزش به‌طور تصادفی برای مرحله آزمون و ۷۷ زمین‌لغزش برای مرحله آموزش استفاده گردید. از ۷۷ زمین‌لغزش مرحله آموزش به‌عنوان خروجی مدل سیستم استنتاج عصبی–فازی تطبیقی استفاده گردید به‌طوری‌که در مناطقی که زمین‌لغزش‌ها رخ‌داده، کد ۱ و در سایر مناطق کد صفر تعلق می‌گیرد.

$$x_i = \frac{z_i - z_{i(min)}}{z_{i(max)} - z_{i(min)}}$$ (رابطه ۳)

برای اجرای مدل نروفازی از ویرایشگر Anfisedit در نرم‌افزار MATLAB2015a به همراه برنامه اصلی مدل انفبس استفاده شد. همچنین به‌منظور اجرای مدل نروفازی نیاز است داده‌ها به سه قسمت آموزش[1]، آزمون[2] و ارزیابی[3] تقسیم گردد. لذا برای بخش آموزش ۷۰ درصد داده‌ها، برای بخش آزمون و ارزیابی هرکدام ۱۵ درصد داده‌ها اختصاص می‌یابد. در این تحقیق با توجه به جمع وزن‌های عوامل ورودی در محیط ArcGIS 10.2 و اضافه نمودن وزن‌های خروجی در کنار آن‌یک ماتریسی با ۱۱ ستون و ۱۱٦۰٦٦ سطر ایجاد گردید که وارد مدل سیستم استنتاج عصبی – فازی تطبیقی شد. از این تعداد، یک ماتریس ۱۷۸۵ در ۱۱ برای بخش آموزش و دو ماتریس ۲٦٤ در ۱۱ برای بخش‌های آزمون و ارزیابی به‌صورت تصادفی ایجاد شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها برای اجرای مدل انفیس از سیستم استنتاج فازی بایستی روش‌های مختلف فازی‌سازی را بر روی داده‌ها پیاده نمود که در این مطالعه از سیستم استنتاج عصبی–فازی میانگین کلاسترینگ[4] استفاده شد. در این روش نیازی به تعیین نوع توابع عضویت، تعداد توابع عضویت و نوع تابع عضویت خروجی نیست. سیستم استنتاج نروفازی تطبیقی میانگین کلاسترینگ، تعداد توابع عضویت را همان تعداد فاکتورهای شرطی زمین‌لغزش در نظر می‌گیرد و نوع تابع عضویت را به‌طور پیش‌فرض گوسی و از نوع خطی انتخاب می‌کند. همچنین در الگوریتم مذکور (میانگین کلاسترینگ)، هر داده قادر است که به درجه عضویت‌های مختلفی تعلق گیرد (ابراهیمی و همکاران،۱۳۹٤). همچنین از تابع عضویت خطی برای خروجی داده‌ها استفاده گردید. به‌منظور بهینه‌سازی روش فازی روش‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از روش سوگنو و از ۵ دور برای آموزش استفاده‌شده است.

---

1 Train
2 Test
3 validation
4 Fuzzy c-mean (FCM)

۲-۲-۳- ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

به‌منظور ارزیابی سیستم استنتاج عصبی – فازی تطبیقی در تحلیل حساسیت زمین‌لغزش از منحنی راک[1] استفاده‌شده است. منحنی راک یک نمودار پراکندگی از حساسیت برای یک سیستم طبقه‌بندی کنندهٔ باینری است که آستانهٔ تمییز آن متغیر است. تحلیل منحنی راک روشی برای تعیین دقت و کارایی مدل است(Wiliams et al ,1998 ؛ Swets,1998). این منحنی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیات تعیینی، شناسایی احتمالات و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به‌صورت کمی برآورد می‌کند (Swets,1988). سطح زیر منحنی راک (AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ‌داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است؛ بنابراین مساحت زیر منحنی به‌عنوان معیار دقت و صحت مدل مورداستفاده قرار می‌گیرد (Mathew,2007). در ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این روش نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده‌شده‌اند (Komac,2006) ازاین‌رو از بین ۱۰۹ پهنه لغزشی، ۷۰ درصد از این تعداد برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد مابقی نقاط برای ارزیابی مدل مورداستفاده قرار گرفت.نتایج و بحث براساس رابطه نسبت فراوانی وزن‌های به‌دست‌آمده در ۱۰ عامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش‌ها اعمال گردید. درنهایت با استفاده از این رابطه سطح همبستگی بین زمین‌لغزش‌ها و عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها که همه با اندازه سلولی ۳۰متر تهیه گردیده، به دست آمد و به‌عنوان وزن ورودی مدل سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی در نظر گرفته شد. در جدول (۲) مقادیر نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش آورده شده است.

جدول ۲. مقادیر نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

عامل	کلاس	تعداد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل غیرلغزشی	نسبت فراوانی
سنگ‌شناسی	BK	٤٠٥	١٩٠٦٨	١/٣٨
	Q	٤٦٠	٣٦٦٤٣	١/٢٦
	As	١٨٥	١٦٥٤٠	٠/٧٢
	Kn	٩١	٥٦١٧	١/٠٥
	A	٢٥١	١٠٦٢٨	١/٥
	Gu	١٨٨	٥٣٦٤	٢/٢٨
	Sv	٢٠٢	٢٢٢٠٦	٠/٥٩
فاصله از جاده	٠-١٠٠	٤٩٤	٤٥٥٢٠	٠/٧
	١٠٠-٢٠٠	٤٥٠	٢٩١٨٩	١
	٢٠٠-٣٠٠	٣٩٦	٢١١١١	١/٢٢

1 Receiver Operating Characteristics (ROC)

ادامه جدول ۲

عامل	کلاس	تعداد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل غیرلغزشی	نسبت فراوانی
فاصله از جاده	۴۰۰–۳۰۰	۳۹۷	۱۴۰۲۸	۱/۸۴
	۴۰۰<	۴۵	۶۲۱۸	۰/۴۷
فاصله از گسل	۱۰۰–۰	۵۶۱	۳۵۳۱۲	۱/۰۳
	۲۰۰–۱۰۰	۴۴۹	۲۴۱۶۷	۱/۲
	۳۰۰–۲۰۰	۱۸۹	۲۳۳۵۵	۰/۵۲
	۴۰۰–۳۰۰	۲۵۱	۱۷۹۴۱	۰/۹۱
	۴۰۰<	۳۳۲	۱۵۲۹۱	۱/۴۱
فاصله از آبراهه	۱۰۰–۰	۴۸۶	۳۸۱۲۱	۰/۸۳
	۲۰۰–۱۰۰	۶۱۰	۳۳۷۱۸	۱/۱۷
	۳۰۰–۲۰۰	۴۶۴	۲۳۴۶۸	۱/۲۸
	۴۰۰–۳۰۰	۱۶۷	۱۴۷۲۱	۰/۷۳
	۴۰۰<	۵۵	۶۰۳۸	۰/۵۹
درصد شیب	۵–۰	۲۸۶	۳۳۶۸۷	۰/۵۵
	۱۰–۵	۶۱۵	۳۱۸۰۱	۱/۱۸
	۳۰–۱۵	۴۷۶	۲۶۶۶۳	۱/۲۲
	۶۰ –۳۰	۳۱۱	۱۷۴۸۳	۱/۱۷
	۶۰<	۹۴	۶۴۳۲	۰/۹۵
جهت شیب	بدون جهت	۰	۴۱	۰
	شمال	۱۷۳	۱۲۰۷۲	۰/۹۳
	شرق	۹۳	۱۰۰۵۶	۰/۶
	جنوب	۳۶۲	۲۰۵۷۲	۱/۱۴
	غرب	۱۸۷	۱۴۵۸۹	۰/۸۳
	شمال شرق	۲۰۰	۱۴۸۱۸	۰/۸۷
	شمال غرب	۱۴۵	۱۱۹۳۸	۰/۷۹
	جنوب شرق	۱۷۵	۸۹۹۰	۱/۱۳
	جنوب غرب	۴۴۷	۲۲۹۹۰	۱/۲۶
بارندگی	۵۵۲–۵۱۸	۵۷۵	۳۶۱۲۷	۱/۰۳
	۵۸۷–۵۵۲	۹۹۸	۵۷۵۲۸	۱/۱۲
	۶۲۱–۵۸۷	۱۷۵	۱۸۰۶۱	۰/۶۳
	۶۵۵–۶۲۱	۳۴	۴۳۵۰	۰/۵

ادامه جدول ۲

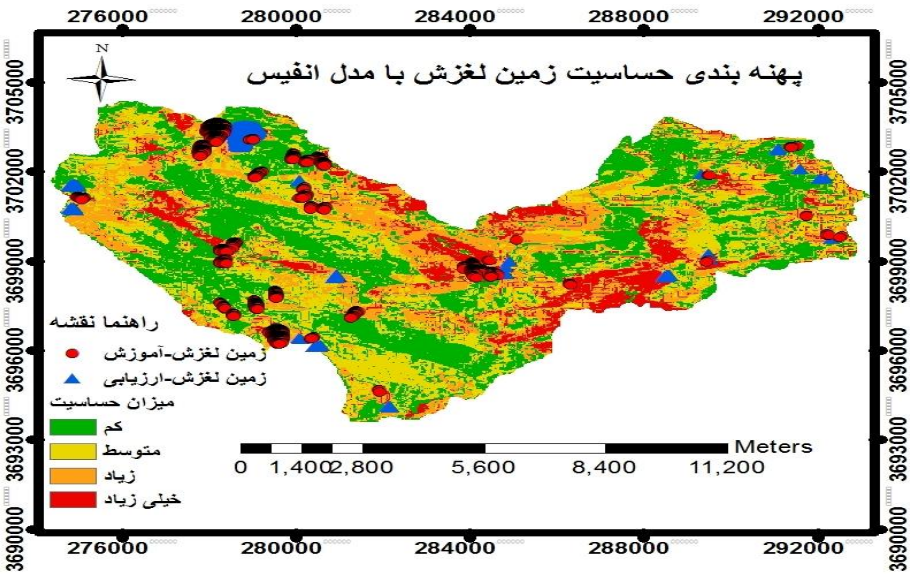
عامل	کلاس	تعداد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل غیرلغزشی	نسبت فراوانی
ارتفاع	۱۶۰-۱۸۰۲	۳۳۷	۲٤۱۱۷	۰/۹۱
	۱۸۰-۲۰۰۲	٦٤٤	۳۲۷۹۰	۱/۲۷
	۲۰۰-۲۲۰٤	٥٤۷	۳۲۹۹۸	۱/۰۷
	۲۲۰-۲٤۰٦	۱٦۳	۱٦۱۸۸	۰/٦٥
	۲٤۰-۲٦۰۸	۹۱	۹۹۷۳	۰/٥۹
شکل شیب	مقعر	۲٦٤	۱٦۱۷۱	۱/۰٦
	مسطح	۱۲٦۰	۸۳۰۰۰	۰/۹۸
	محدب	۲٥۸	۱٦۸۹٥	۰/۹۹
کاربری اراضی	اراضی دیم	۸۸۷	۷۲۹٥۹	۰/۷۹
	مناطق مسکونی	۲۷۰	٥۸٥۲	۳/۰۳
	مناطق جنگلی	٤۰۰	۳۱٤٤۹	۰/۸۲
	مرتع	۲۲٥	٥۸۰۸	۲/٥۲

۳- نتایج و بحث

در بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها با استفاده از مدل نسبت فراوانی، نتایج نشان داد که از بین تمامی عوامل، عامل سنگ‌شناسی بیشترین ارتباط را با وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته و بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است (۸/۷۸). در بحث عامل سنگ‌شناسی بیشترین ارتباط بین این عامل و زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته مربوط به واحد سنگ‌شناسی سازند گورپی است. سازند گورپی شامل مارن و شیل‌های خاکستری مایل به آبی است که میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های نازک رسی دارد. این سازند دارای حساسیت به فرسایش زیادی بوده و علاوه بر ایجاد بار رسوب فراوان، به‌واسطه جذب رطوبت بالا باعث کاهش مقاومت دامنه‌ها می‌شود. نتایج حاصل از نقش جهت شیب در وقوع لغزش‌ها نشان داد بیشترین لغزش‌ها در جهت‌های جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق اتفاق افتاده است. این نتایج تا حدود زیادی قابل‌انتظار است زیرا با توجه به اینکه در نیمکره شمالی دامنه‌هایی که جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب است نور خورشید را بیشتر دریافت کرده و تبخیر در آن‌ها بیشتر می‌شود، همین عامل سبب می‌شود در دامنه‌هایی که به سمت جنوب شیب‌دارند، لغزش‌های بیشتری رخ دهد؛ عامل ثانویه دیگر را می‌توان از جنس سازندهای موجود در این جهات دانست که اغلب سازندها ماهیت آهکی دارند. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج سوری و همکاران، (۱۳۹۰) مطابقت دارد. در رابطه با کاربری اراضی در اطراف مناطق مسکونی و باغات، لغزش‌های زیادی رخ‌داده است. یکی از دلایل عمده وقوع لغزش‌ها، تغییرات کاربری اراضی و قطع جنگل‌ها و تبدیل به مناطق مسکونی، این حوضه است این شرایط زمانی تشدید شده که ویژگی‌های فیزیوگرافی نظیر شیب نیز

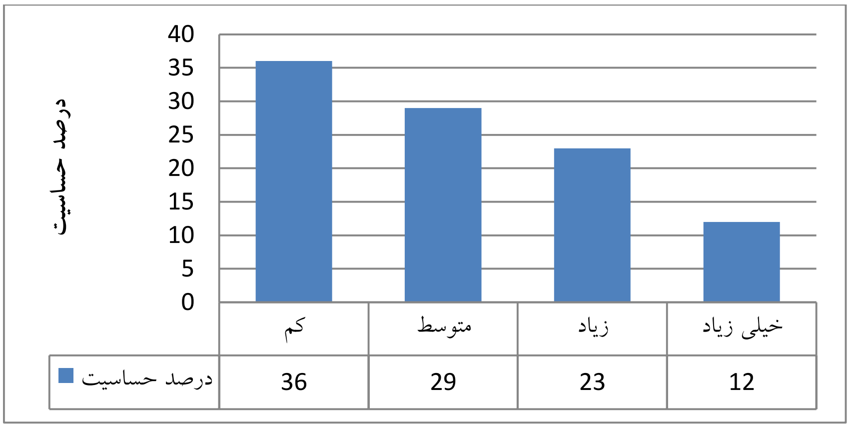
مزید بر علت گردیده و حرکت توده‌ای لغزش‌ها را در نبود ریشه‌های درختان تشدید کرده است؛ که این نتایج با تحقیقات محمدی، (۱۳۸٦)؛ زارع و همکاران، (۱۳۸۹) وErcanoglu et al (2004) مطابقت دارد. در بحث عامل فاصله از جاده در اطراف جاده‌های منطقه موردمطالعه میزان لغزش‌ها بسیار زیاد است. علت اصلی این موضوع آن است که جاده‌ها وضعیت طبیعی و به‌عبارت‌دیگر شیب تعادل منطقه را به هم زده و بریدگی‌های عمودی به وجود می‌آورند و بر بخش پایین جاده فشار اضافی وارد می‌کنند و باعث افزایش وقوع زمین‌لغزش در نزدیکی جاده‌ها می‌شوند؛ همچنین بسته شدن مسیر آب زیر قشری و ایجاد فشار منفذی عامل مهمی در این بخش است. محمدی، (۱۳۸٦)؛ پورقاسمی (۱۳۸٦)؛ Duman et al (2005)؛ Lee (2008)؛(Yalcin (2008 وZare et al (2012) نیز به نتایج مشابهی مبنی بر افزایش زمین‌لغزش‌ها در اطراف جاده‌ها رسیدند. بررسی نقش درجه شیب در وقوع زمین‌لغزش‌ها نشان داد بیشترین ارتباط لغزش‌ها باکلاس ۱۵ تا ۳۰ درصد شیب را نشان داده است و طبقه شیب ۰ تا ۵ درصد کمترین اثر را داشته است. درشیب‌های کم به علت اینکه معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است ناپایداری دامنه‌ای اتفاق نمی‌افتد اما درشیب‌های متوسط به علت ویژگی‌های اقلیمی و پوشش گیاهی شرایط خاک سازی در این درجه از شیب کاملاً مهیا بوده که به بالا بودن نیروی ثقل و دخالت عوامل انسانی شرایط برای وقوع لغزش‌های بیشتر را فراهم می‌آورد. این نتایج تقریباً با نتایج بسیاری از محققان هم-خوانی دارد بطوری‌که این محققان بر این باورند که حساسیت وقوع زمین‌لغزش درشیب‌های متوسط نسبت به شیب‌های ملایم و تند بالاست و فقط در میزان شیب اختلاف‌نظر وجود دارد. نتایج این بخش با نتایج پورقاسمی (۱۳۸٦)، جوکار و همکاران (۱۳۸٦) و (Bui et al (2012 مطابقت دارد. بررسی فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیشترین لغزش‌ها در فواصل بیش از ٤۰۰ متر از گسل اتفاق افتاده است. لغزش‌هایی که در فواصل بیش از ٤۰۰ متر قرار دارد نشان می‌دهد در منطقه موردمطالعه گسل به‌عنوان پارامتر اصلی وقوع زمین‌لغزش ایفای نقش نکرده است و عوامل دیگری باعث کم‌رنگ شدن فاکتور فاصله از گسل در وقوع زمین‌لغزش شده‌اند که با نتایج پور قاسمی (۱۳۸٦)؛ مقیمی و همکاران (۱۳۸۷)؛ زارع و همکاران (۱۳۸۹) وJouri et al (2012) مطابقت دارد. نتایج حاصل از انطباق نقشه آبراهه‌ها با وقوع زمین‌لغزش‌ها نشان داد تمامی لغزش‌ها بین فواصل ۰ تا ۲۰۰ متر از آبراهه‌ها اتفاق افتاده است زیرا آبراهه‌ها براثر فرسایش رودخانه‌ای و سایش دیواره کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه می‌گردد.(Bui et al (2012)، Zare et al (2012)، Jouri et al (2012 وSalarian et al (2014) نیز به چنین نتایجی دست یافتند. در بررسی نقش عامل بارندگی با وقوع لغزش‌ها، نتایج نشان داد بیشترین همبستگی بین طبقه بارندگی ۵۲۲ تا ۵۸٦ میلی‌تر بوده و از طرفی ارتباط تنگاتنگی بین میزان بارندگی و ارتفاع وجود دارد به‌طوری‌که هرچه ارتفاع حوضه بیشتر می‌گردد میزان لغزش‌ها افزایش پیدا می‌کند که بیشترین لغزش‌ها در ارتفاع ۱۸۰۲ تا ۲۰۰٤ متر قرار داشته و بعدازاین ارتفاع لغزش‌ها بسیار کم رخداده است. این

روند همان‌طور که در نتایج نشان داده‌شده نشان‌دهنده نقش بارندگی در وقوع زمین‌لغزش است زیرا با افـزایش ارتفـاع میزان بارندگی بیشتر شده و حساسیت وقوع لغزش‌ها بیشتر می‌شود اما ایـن رونـد در ارتفاعـات بالـا بـه علـت اینکـه بارندگی معمولاً به‌صورت برف بوده و غالب بـودن پدیـده یخبنـدان در بخـش بزرگـی از سـال باعـث کنـدی پدیـده خاک‌زایی شده و همچنین عدم وجود آب کافی برای اشباع سـازندها و کـاهش دخالت‌هـای انسـانی در طبیعـت و در ارتفاعات بالا از دلایل کاهش زمین‌لغزش در ارتفاعات است. نتایج این بخش از تحقیق بـه نتـایج Jouri et al (2012)؛ Yalcin (2008) و Salarian et al (2014) مطابقت داشت. بررسی عامل شکل شیب نشان مـی‌دهـد در کـه بیشـترین وقوع لغزش درشیب‌های مقعر رخ‌داده است. دامنه‌های همگرا با پروفیل مقعـر و مسـتقیم، ناپایـداری بیشـتری نسبت به دیگر دامنه‌ها دارد، درحالی‌که دامنه‌های محدب بعد از بارندگی شدید پایدار بـاقی مـی‌مانـد. نتـایج این بخش با نتایج Talebi (2008) مطابقت دارد. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی بر اساس روابط مـدل، نقشـه حساسـیت وقوع زمین‌لغزش تهیه گردید. درنهایت نقشه حساسیت زمین‌لغزش از روش انفیس بـه دسـت مـی‌آیـد و بـر اسـاس شکستگی‌های طبیعی[1] به چهار کلاس (حساسیت کم، متوسط، زیـاد، خیلـی زیـاد) طبقه‌بنـدی شـد. شـکل (۷) نقشـه حساسیت زمین‌لغزش را نشـان مـی‌دهـد کـه بـر اسـاس نسـبت تجمعـی وزن‌هـای به‌دسـت‌آمده از مـدل نروفـازی طبقه‌بندی‌شده است. همچنین نتایج درصد رده‌های مربوط به هر طبقه در شکل (۹) ارائه شده اسـت. دقـت در شـکل مذکور نشان می‌دهد که ۲۳ درصد از سطح منطقه مطالعاتی در کلاس خطر زیاد و ۱۲ درصـد در کلـاس خطـر خیلـی زیاد قرارگرفته است.



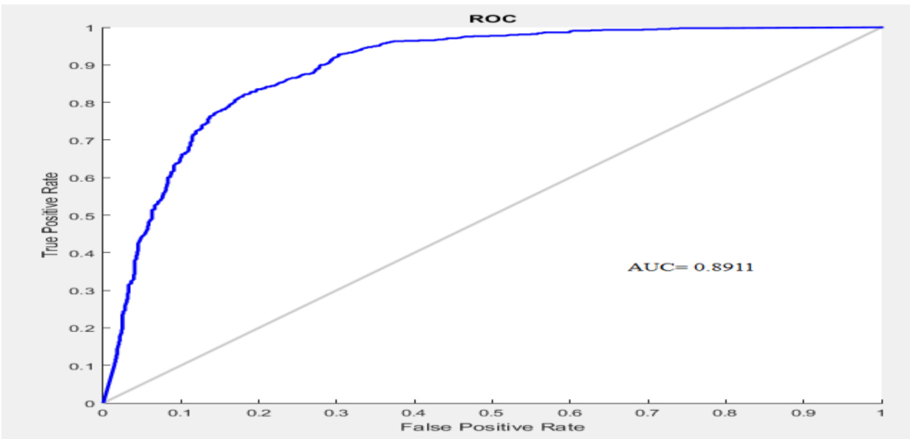
شکل ۷. نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل انفیس در حوزه آبخیز سردارآباد

1 Natural Breaks



شکل ۸. نمودار درصد کلاس حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از انفیس

به‌منظور دستیابی به مدل منطقه‌ای مناسب برای حوزه آبخیز سردارآباد از منحنی راک استفاده شد (شکل ۹). هر چه نقاط به سمت بالا و چپ نزدیک‌تر باشد یعنی به یک نزدیک‌تر باشد نتیجه مدل مناسب‌تر است و مدل پیش‌بینی به حالت ایده آل خود نزدیک‌تر است (Yesilncar, 2005). به‌طورکلی تقسیم‌بندی ۰/۹– ۱، عالی؛ ۰/۹ – ۰/۸، خیلی خوب؛ ۰/۸ – ۰/۷، خوب؛ ۰/۷– ۰/٦، متوسط و ۰/٦ – ۰/۵، ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند (Zhu et al., 2009; Yesilncar, 2005). به این منظور، از مجموع ۱۰۹ زمین‌لغزش شناسایی‌شده در منطقه موردمطالعه، ۳۲ زمین‌لغزش برای ارزیابی مدل تهیه‌شده است. بر اساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح زیر منحنی منطقه موردمطالعه با استفاده از سیستم استنتاج عصبی– فازی تطبیقی ۸۹/۱۱ درصد که این مقدار نشان‌دهنده این نتیجه است که مدل در طبقه خیلی خوب قرارگرفته است. شکل (۹) نشان‌دهنده ارزیابی خیلی خوب سیستم استنتاج عصبی– فازی تطبیقی در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش است.



شکل ۹. منحنی راک و سطح زیر منحنی سیستم استنتاج عصبی–فازی تطبیقی

٤- جمع بندی

در این مطالعه از مدل نرو فازی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغـزش اسـتفاده گردیـد. نتـایج حاصـل از ارزیـابی بـه روش منحنی راک در تابع عضویت گوسی نشان داد کـه سـطح زیـر منحنـی برابـر بـا ۰/۸۹۱ اسـت. بـدین معنـا کـه حساسیت مدل وزن نشانگر ۸۹/۱٪ صحیح است. همین‌طور با توجه به اینکه مقدار سطح زیر منحنـی بـین ۰/۸ تـا ۰/۹ قرار گرفت دقت مدل در طبقه خیلی خوب قرار گرفـت. منطقـه موردمطالعـه درمجمـوع دارای پتانسـیل بالـایی بـرای وقوع زمین‌لغزش است و در صورت پیشگیری و مدیریت نکردن از این لغزش‌ها هرساله خسـارات زیـادی بـه جـاده، مناطق مسکونی و دیگر منابع موجود در منطقه وارد می‌کند. فاکتورهای زمین‌شناسی، خصوصـیات ژئومورفولـوژیکی و شبکه آبراهه غیرقابل تغییر بوده و تنها راه جلوگیری از خسارات آن‌ها دوری از این مناطق و عدم تحریـک ایـن منـاطق است. فاکتورهای جاده و کاربری اراضی که از عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه معرفـی شـدند قابلیـت بیشـتری برای مدیریت داشته و با احداث جاده بر اساس شـرایط زیسـت‌بوم و جلـوگیری از احـداث جاده‌هـای غیراصـولی و کاربری مناسب در این مناطق، می‌توان از تحریک و افزایش حرکت‌ها در این‌گونه مناطق جلوگیری کـرد. تهیـه نقشـه نشان داد مدل انفیس از کارایی بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش برخوردار بوده کـه بـا نتـایج اوه و همکـاران (۲۰۱۱) و مقدم‌نیا و همکاران (۱۳۹٤) مطابقت داشت. توجیه موضوع می‌تواند به این صورت باشد کـه نروفـازی بـه دلیل تنظیمات زیاد و خصوصیات آن و همچنین خاصیت انعطاف‌پذیری آن با دنیای واقعی، سازگارتر اسـت. درواقـع نروفازی توانست بین ورودی‌های مختلف خروجی مناسبی را تهیـه و ارتبـاط مناسـب‌تری را بـین ورودی‌هـا برقـرار نماید.

منابع

ابراهیمی، افسانه؛ شاد، روزبه؛ قائمی، مرجان؛ ۱۳۹٤. پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش بااستفاده از مدل‌سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی و GIS . نخستین‌همایش‌ونمایشگاه بین‌المللی ایمنی امنیت‌ومدیریت بحران‌درسوانح‌طبیعی.

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ محمدی سلطان آباد، زهرا ؛ گل دوست، اکبر؛ ۱۳۹۳. اعتبارسنجی سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی (ANFIS) در برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوضه نوران). اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران، موسسه ایرانیان، قطب علمی برنامه ریزی وتوسعه پایدار گردشگری دانشگاه تهران،

پور قاسمی، حمیدرضا؛ ۱۳۸٦. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۵ ص.

پور قاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمید رضا؛ فاطمی عقدا، سیدمحمود؛ ١٣٩١. تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در شمال شهر تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های دانش زمین، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.

جوکار سرهنگی، عیسی؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ سلمایان، حسین؛ ١٣٧٦. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز صفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ٩، ٩٢-٧٩.

زارع، محمد؛ احمدی، حسن؛ غلامی، شعبانلی؛ ١٣٩٠. پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز واز). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال پنجم، شماره ١٧،١٧-٢٢.

شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ ١٣٨٦. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRF. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ٣٩، ١١-٢٣.

صفاری، امیر ؛ اخدر، آرش؛ ١٣٩١. مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی :جاده ارتباطی مریوان - سنندج)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی فردوسی مشهد، شماره٥ ، ٧٩-٩٦.

علیجانی، بهلول؛ قهرودی، منیژه ؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ ١٣٨٦. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ٨٤، ١١٦-١٣١.

فیض‌الله‌پور، مهدی؛ ١٣٩٦. پهنه بندی مناطق مستعد به زمین لغزش با استفاده از سیستم استنتاجی فازی عصبی(ANFIS)(مطالعه موردی: حوضه رودخانه سنگورچای). مجله مخاطرات محیط طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان، دوره ٧،شماره ١٧، ١٥٥-١٧٤.

کشوری، فرامرز؛ شمس نیا، سید امیر؛ ١٣٩٣. ارزیابی عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی (شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (ANFIS)) در پیش بینی دبی ماهانه جریان رودخانه (مطالعه موردی : بند بهمن رودخانه قره آغاج). *دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)*، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.

مقدم نیا، علیرضا؛ زارع، محمد؛ تالی خشک، صادق؛ سلمانی، حسین؛ ١٣٩٤. پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوزه آبخیز از. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. شماره ١١ ، ١٠١-١١٠.

مقیمی، ابراهیم؛ علوی پناه، سید. کاظم؛ جعفری، تیمور؛ ١٣٨٧. ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ٦٤،٥٣-٧٥.

Aghdam, I.N., Varzandeh, M.H.M. & Pradhan, B., 2016. Landslide susceptibility mapping using an ensemble statistical index (Wi) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model at Alborz Mountains (Iran. Environmental Earth Sciences, 75: 553.

Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O., 2012. Landslide susceptibility assessment in the HoaBinh province of Vietnam: A comparison of the Levenberg–Marquardt and Bayesian regularized neural networks. Geomorphology, 172(1), 12-29.

Chen, W., Panahi. M., & Pourghasemi., H.R., 2017. Performance evaluation of GIS-based new ensemble data mining techniques of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with genetic algorithm (GA), differential evolution (DE), and particle swarm optimization (PSO) for landslide spatial modelling. CATENA, 157, 310-324

Duman, TY., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., & Sonmez, H., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area. Istanbul Turkey, Environmental Geology, 51, 241-256.

Ercanoglu, M., & Candan, G. P., 2004. Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area(West Black Sea Region, Turkey. Engineering Geology, 75, 229-250.

Feizizadeh, B., Shadman Roodposhti, M., Jankowski, P., & Blaschke,T., 2014. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. Journal Computers & Geosciences,73, 208–221.

Jang, J.S., 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system, IEEE Trans System Manage Cybernet, 762-767.

Jouri, M.H., Zare, M., Askarizadeh, D., Fakhre Ghazi, M., Salarian, T., & Miarrostami, S., 2013. Landslide Susceptibility Mapping for Subalpine Grassland Using Frequency Ratio and Landslide Index Model (Case Study: Masoleh Watershed, Iran). Journal of Rangeland Science, 3(1),21-30.

Kartalopoulos, S.V., 1996. Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic- Basic Concepts and Applications, Prentice Hall. New-Delhi Environmental Geology, 52, 615-623

Kayastha, P., 2012. Application of fuzzy logic lsndslide susceptibility mapping in Garuwa sub-basinEast Nepal. 6(4),420-432.

Komac, M.A., 2006. Landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. Geomorphology, 17-28.

Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators landslide susceptibility mapping. Environmental Geology, 52, 615-623.

Leonardi, G. Palamara, R. Cirianni,F., 2016. Landslide Susceptibility Mapping Using a Fuzzy Approach. Procedia Engineering, 380–387.

Mathew, J., Jha,V., & Rawat, G. (2007) .Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. Current Science, 92(5), 628-638.

Oh, H.J., &Pradhan, B. (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computers and Geosciences, 37(2), 1264-1276.

Polykretis, Ch., Chalkias, Ch., & Ferentinou, M., 2017. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) modeling for landslide susceptibility assessment in a Mediterranean hilly area. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1–15.

Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., & Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin Iran. Catena, 71–84.

Pradhan, B., 2010. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. Advances in space research, 1244-1256.

Pradhan, B., 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. Computer and Geosciences, 51, 350-365.

Salarian, T., Zare, M., Jouri, M.H., Miarrostami, S., & Mahmoudi, M., 2014. Evaluation of shallow landslides hazard using artificial neural network of Multi-Layer Perceptron method in Subalpine Grassland (Case study: Glandrood watershed - Mazandaran). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 795-804.

Sezer, E.A., Pradhan, B., & Gokceoglum, C., 2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. Expert Systems with Applications, 38(1),8208-8219

Swets, J. A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science. 240. 1285–93.

Talebi, A., Troch, P. A., & Uijlenhoet, R., 2008. A steady-state analytical hillslope stability model for complex hillslops. Hydrological Procecces, 21(10).68-81.

Williams, C.J.S.S., Lee. R., Fisher, A., & Dickerman, L. H., 1999. A comparison of statistical methods for prenatal screening for Down syndrome. Applied Stochastic Models and Data Analysis, 89–101.

Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. Catena, 1–12.

Yesilnacar, E.K., 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, Ph.D Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne.

Zare, M., Pourghasemi, H.R., Vafakhah, M., & Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. Arabian Journal of Geosciences, 2873–2888.

Zhu, C., &Wang, X., 2009. Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology. 187(10). 342-346